

報 告

## 生理学研究所研究会「視知覚研究の融合を目指して—生理，心理物理，計算論」報告

自然科学研究機構生理学研究所感覚認知情報研究部門

総合研究大学院大学生命科学研究科生理科学専攻

小 松 英 彦

生理学研究所研究会「視知覚研究の融合を目指して—生理，心理物理，計算論」は，平成 19 年 6 月 14 日，15 日に自然科学研究機構の岡崎地区内にある岡崎コンファレンスセンター中会議室において開催された。プログラムは以下の通りである。

6 月 14 日

「サル前部下側頭皮質における「顔」の記憶のニューロン表現」

永福 智志（富山大学医学薬学研究部統合神経科学）  
「運動情報を利用した色の知覚」

西田 真也（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）

「側頭葉のニューロンの集団ダイナミクス」

岡田 真人（東京大学新領域創成科学研究科複雑理工学専攻）

「乳児の視実験から視知覚機能の形成過程を知る」  
山口 真美（中央大学文学部教育学科心理学コース・JST）

「視床におけるクロスモーダル信号処理」

小村 豊（産業技術総合研究所脳神経情報研究部門）  
「運動視処理における二つの皮質経路」

林 隆介（京都大学医学研究科認知行動脳科学）  
「fMRI を用いたサル視覚皮質における機能地図計測」

郷田 直一（生理学研究所感覚認知情報部門）  
「大きさ知覚の恒常性と V4 野両眼視差選択性細胞」  
藤田 一郎（大阪大学生命機能研究科認知脳科学研究室）

6 月 15 日

「視聴覚の時間順序判断における同時性のペイズ較正」  
山本 慎也（産業技術総合研究所脳神経情報研究部門）

「空間知覚の環境適応のための方略」

金子 寛彦（東京工業大学理工学研究科附属像情報工学研究施設）

「高空間解像度 fMRI による大流出静脈中の方位選択性信号検出」

程 康（理化学研究所脳科学総合研究センター認知機能表現研究チーム）

「霊長類と鳥類の視覚的補間と錯視」

藤田 和生（京都大学文学研究科心理学研究室）

「ネコ一次視覚野における刺激文脈依存的反応修飾の時空間特性」

佐藤 宏道（大阪大学医学系研究科認知行動科学・生命機能研究科）

「周辺変調による図方向検出…計算論的アプローチ」

酒井 宏（筑波大学システム情報工学研究科）

第 3 期の 1 回目となる今回の参加者は約 120 名であった。教員などファカルティクラス，ポスドククラス，学生のそれぞれの参加者がほぼ 1/3 ずつくらいで，若い参加者の多いことは，これからのこの分野の発展を願うものとして大変喜ばしく感じている。また恒例行事として毎年参加して下さる方も増えているようである。

視知覚のメカニズムの理解には生理学的なアプローチ，心理物理学的アプローチ，計算論的アプローチなどさまざまな入口がある。しかし，めざすものが視知覚のメカニズムという共通の目標であれば，それぞれが独立して進むことができる訳がない。例えば生理学的な研究を進めるにあたって，対象とする視知覚の性質を知らないで始めるのは地図もなしに森に足を踏み入れるようなものであろう。また，生理学的なデータを視知覚の説明につなげるにはモデルによる定量的な理解が重要であろう。このようなことは今さら言うまでもないことのはずであり，欧米では実際当たり前のように行われて，異なる専門をもつ研究者の共同作業によって視覚研究が非常に進んでいる。しかし日本の現状を見ると，残念ながらこのような交流の機会はいまだに乏しい。学問分野の垣根というのは我々の想像以上に高いようであり，意識的にそれを越えるための努力をしなければ，世界から取り残されてしまうであろう。

生理学研究所は大学共同利用機関であり、その役割の一つは異なる学問分野を結びつけて新しい研究を切り開く活動をサポートすることである。そこで私が世話人となって、生理研の機能を生かした研究会を開催し、視知覚のメカニズムを研究する異なる分野の研究者が交流する機会を作ることとなった。私は視知覚の神経機構を生理学的に研究しているの、心理物理学から視知覚を研究している研究者に代表をつとめていただき、異なる分野からホットなトピックの講演が集まるように企画した。1999年に第1回を行い、1年おきに2003年まで3回行った後、2004年からは毎年行って今回で7回目になる。同じ代表者は3回までしか研究会をできないという決まりがあるので、第1回から第3回は東京工業大学の内川恵二先生に、第4回から第6回は東北大学の塩入諭先生に代表をつとめていただいた。そして、第7回にあたる今年からはNTT-CS研究所の西田眞也先生を代表として3期目がスタートしたことになる。

このような分野の壁を越えた交流の機会がまだ少ないこと、毎回どの講演者の方からもホットで興味深い発表がなされることから、参加者が着実にその数を増やしている。コーヒープレークや懇親会も学会を越えた貴重な交流の機会を作り出しているように思える。ただ残念ながら計算論、モデルの研究者の参加がまだ少ない。これは興味深い研究を見のがしている主催者の責任でもあるかも知れない。この記事をご覧になった本学会の方が積極的にこの研究会に参加して下さるようになれば幸いである。毎年6月に2日間（プログラムは1日目の午後から2日目のお昼までなので丸一

日）の日程で行っている。是非、視知覚に興味をもつ多くの研究者、特にこれからの視知覚の研究を切り拓いていく若い人たちに参加していただきたいと願っている。最後に今回の研究会についての西田代表からの総括を以下に引用させていただく。

“本年度の研究会の特徴として（企画者の意図する以上に）講演間の相互関連があり、聴衆の理解を助けるとともに、講演者間の活発な議論を生むこととなった。関連性という視点を含めて今回の発表を概観すると以下のようなになる。（1）顔の神経表現についての神経生理（永福）と視覚概念の神経表現を解析するための数学理論（岡田）。（2）運動対象の色の知覚（西田）と運動に誘導される眼球運動（林）。（3）運動錯視の知覚に関する乳児の視覚発達（山口、金沢）と、遮蔽錯視に関するハトの心理物理（藤田和生）、さらに大きさの錯視についてのサル電気生理（藤田一郎）。（4）fMRI研究によるサルの機能地図の報告（郷田）と、人間を被験者とした解剖学的構造と機能デコーディングの関連性の解明（程康）。（5）クロスモーダル知覚に関わる視床のニューロン活動（小村）。（6）時間知覚（山本）と空間知覚（金子）における環境適応的可塑性。基本論理は非常に類似していることが興味深い。（7）初期視覚野神経活動の文脈依存性（佐藤）とその理論的意義のモデルによる考察（酒井）。マスキングや知覚体制化といった核心的な視覚現象が説明できる可能性が議論された。総括すれば、今回は視覚研究者の学際的な意見交換の場として非常に有益な会となった。”

## 時限研究会「ブレインネットワークコミュニケーション研究会」 実施報告

理化学研究所 竹市博臣

2007年6月22日（金）、東京・機械振興会館で開催されたブレインネットワークコミュニケーション研究会（電子情報通信学会ブレインコミュニケーション研究会と併催）について、感想を交えて（中心に？）報告する。60名程度の参加者があった。

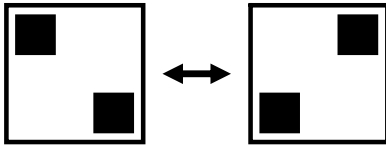
脳とコンピュータ（情報機器）を直接つないで情報を交換したり、機械を直接つないで制御したりするBrain-Computer-Interface（BCI）、Brain-Machine-Interface（BMI）の研究が最近さかんになってきた。

MEG, fMRI, EEG, NIRS といった非侵襲脳活動計測技術の発達と SVM, ICA など多変量解析技術の進歩が大きな要素であり、これにシステム脳科学の知見の蓄積や社会経済的な情勢が複雑に、しかし一般には支持的に作用している。認知脳科学・情報通信・計測機器・材料・制御・医療福祉・社会経済など学際的協力が不可欠で、米国に大きな流れがあるが、欧州勢・日本も本当に比肩している点でも国際的である。複雑系としての脳はごまかしのきかない実力勝負の土俵を

提供し、魅力のつきない分野を形成している。

研究会プログラムはデコーディング・システム・デバイス・学習制御の4セッション構成で、全部で11題の講演があった。

デコーディングでは、下野昌宣・武田常広氏（東京大学）「単一試行 MEG を用いた知覚交代の予測」は、Dynamical Dot Quartet (DDQ) とよばれる多義的な知覚交代をパラダイムとして用いている。



上記のような2つのフレームを交代させると、左側第1フレームと右側第2フレームの間で仮現運動が知覚されるが、左側第1フレームの左上の四角形と、右側第2フレームの右上が対応づく場合は横方向の運動が、右側第2フレームの左下が対応づく場合は縦方向の運動が知覚される。どちらの運動が知覚されるかは四角形間の距離に依存するが、フレームあたり300ミリ秒以上でゆっくり提示すると、四角形間の距離が一定でも知覚される運動方向が交代し、意識して知覚方向を変えることもできる。

彼らは、この刺激を繰り返し提示した間のMEGデータ、および前の試行のMEGデータにSVMを適用することで、知覚内容を70~80%デコードないしは予測できると報告している。

この講演には、ふつうは被験者に知覚交代が生じていたかどうかについて反応時間をとるなど確認するが、この場合はどうであったのか、という質問があった。しかし、この現象は、同じように物理的には同じ刺激に対する知覚内容が自発的に交代するNecker立方体やRubinの顔と花瓶と異なり、知覚交代が生じたかどうか、それがいつか、被験者本人にとって判断に迷う余地がなく、計測も容易であるという独特固有の特徴があり、それが計測や分析を大幅に単純化している。はじめに計測技術と解析技術が大きな要素と述べたが、そのどちらでもないパラダイムの重要性ののっけから目の当たりにすることとなってしまった。

長谷川良平・長谷川由香子・Segraves, MA氏（産総研・Northwestern Univ.）「サル上丘における多次元意思決定に関する脳内過程の予測」では、サルに文脈依存的なgo, no-go課題を行わせ、上丘の単一神経細胞活動を記録し、記録とサルの判断行動から、仮想意思決定関数（virtual decision function, VDF）を構成し、複数の神経細胞活動記録に適用して、サルが

その試行でどう反応するかを予測推定することができる」と報告された。複数の神経細胞からのデータを使う場合、どう統合するか、とりわけ個々の細胞が違う判断を示唆している場合どうするか、という問題がある。また、上丘の神経細胞活動が判断に対応づくとして、どのように対応づくのか、上丘の神経細胞が判断過程に関与しているのか、判断の結果を反映しているのか、判断の結果の運動指令を反映しているのか、そのそれぞれによって、どのようなBMIが実現できるのか異なるが、それは非常に多くのデータを集めないといけない。侵襲的なBMIの基礎研究では動物を対象とした研究が避けられないが、ここでは、デコーディングの研究では避けて通れない特異性がより困難な問題になる。パラダイムの難しさを再認識することとなった。片山統裕氏ら（東北大学）「時空間混合モデルに基づく多細胞活動電位の弁別アルゴリズム」では、現実の多細胞活動記録が瞬時空間混合であると仮定できないことを指摘し、ウェーブレット変換で瞬時空間混合が仮定できるように変換してから分離する方法を提案するとともに、シミュレーションデータへの適用が紹介された。これに対し、シミュレーションデータ構成法の妥当性等についての質問があった。3題聴講したところで、筆者としては、結局デコーディングは難しいので、現段階ではいかにしてうまくデコードするかよりも、いかにしてデコードしなければならない情報を減らすかが重要なことのように思われた。

システムでは、田中一男氏（電気通信大）「脳波信号による電動車椅子の方向制御」は、被験者が作るイメージを脳波からデコードし、それに応じて車椅子を制御することに成功したという招待講演である。しかしここでも筆者にとってのtake-home-messageは、脳波はノイズのない新鮮な計測を行うことが重要であって、データがよくなければどのような解析を行ってもだめである。逆にデータさえよければ解析方法はそれほど重要ではなく、そのためには被験者のトレーニングが成否の8割を決する、といったもので、EEGかNIRSかという選択もどちらのほうが安定確実、そして安価に脳活動を計測できるかが勝負のように思われた。Guenter Edlinger, Christoph Guger氏（g.tec社）「Current situation and future of BCI: case from BCI research system」でも、脳波をもとにしたBCIを構築する場合、被験者が作るイメージが具体的なほど再現性が高いので望ましく、身体運動をイメージさせるのも、身体運動イメージから骨格筋制御パターンをデコードするというより、特異性の高い脳活動を再現性高く作るのに身体運動イメージが適しているということらしいと

いう議論があった。やはり、まだまだ脳に合った機械を作るというか、脳が機械に合わせる事が重要なようである。よく神経神話の一つで私たちは脳の数%しか使っていないなどと言われるが、そう思えるのは、今の脳活動計測の多くが脳活動の大海原のひとつくをすくい上げているにすぎないからなのかもしれない。木口雅史氏ら（日立製作所）「携帯型光トポグラフィ技術」では話題の携帯型 NIRS（光トポグラフィ）装置が明快に紹介された。さっそく価格問い合わせもでていたが、販売計画は先のようなのである。またヘモグロビン変化を指標とした BCI では、本質的に応答速度をヘモグロビン応答より速くすることができないのではないか、という質問がでていた。計測モダリティもアプリケーションに応じて選択することが重要なものかもしれない。

デバイスでは、寺尾元康・笹子佳孝氏（日立製作所）「神経細胞対応半導体回路の新しい試み」がイオン導電バスとよばれる方法を用いてシナプス結合を実現し、中間入力によって修飾入力を模擬し、それらを含んだ小規模な神経回路網に相当するセル回路を配列することでプログラムするという、より神経細胞と同型の回路を提案した。今日 McCulloch-Pitts 型のしきいニューロンそのままを用いることは多くないかもしれないが、現実の複雑な神経細胞・神経回路のモデル化に取り組む研究者が多くないのも事実である。とりわけ多細胞記録が普及しつつある今日、単一細胞記録とは異なる、多細胞が作る回路の情報モデルは、多細胞記録データの解析解釈の上でも、そうしたデータに基づく理論を進展させる上でも重要さは増すばかりではないか。豊村暁・小山幸子・大森隆司氏（科学技術振興機構・北海道大・玉川大）「発声におけるフィードバック制御と自己音声知覚」では、変換聴覚フィードバックとよばれるパラダイムを用いた行動実験および fMRI 実験から、発声制御がフィードフォワードとフィードバック

の2種類から構成されること、それぞれ基底核と島と、脳の別の部位が関係していることが報告された。考えてみれば、脳動車椅子でも指摘されたように運動制御はほんらい双方向的であって、システムの適合性がよほど高くなければ、感覚系と運動系の片方だけ BCI 化するのには、制御構造が成り立たなくなるのでうまくゆかないのではないか。

どうも最後はやはり脳の学習機能が決め手のようである。学習制御では、松元健二氏ら（理化学研究所）「行動結果のフィードバックに基づいた行動学習の神経機構」でサル脳の脳内で強化学習の誤差信号が前頭前野内側部でどのように表現されているかについて単一神経細胞活動記録の定量的な研究が紹介された。続く中原裕之氏（理化学研究所）「Machine learning and BMI」では、学習に関する主要概念のレビューがあった。たとえば強化学習では誤差信号がスカラ量、supervised 学習ではベクトル量となっている。supervised 学習の BCI では、脳内情報表現が重要になるが、実際の脳の supervised 学習の機構はどうなのであろうか。今水寛氏（ATR）「スキルの獲得と柔軟な切り替えを可能にする大脳—小脳連関」では、fMRI を駆使した回転マウス実験から、小脳にはモジュール化された要素スキルがモデルとして格納されており、前頭前野・島などがそれらを切り替えて使うモザイクモデルと、小脳が投射する大脳領野の信号をもとに、小脳のモジュール活動をデコードする BCI の構想が紹介された。

筆者・世話人といたしましては、神経回路学会・会長室・時限研究会関係の方々、併催した電子情報通信学会ブレインコミュニケーション研究会幹事、研究会のご講演者・参加者の皆様から甚大なお力添えを頂き、この分野の多くの研究者と交流し、知識と理解を深める機会を得たことは何物にも代えがたい貴重な経験となりましたので、ここに厚く御礼申し上げます。

## VSS2007 参加報告

京都大学 林 隆 介

今回は 5 月 11 日から 16 日の期間に開催された、Vision Sciences Society（以下 VSS）2007 Annual Meeting に参加してきたのでそのときの模様を報告したい。VSS は 2001 年に ARVO（The Association for Research in Vision and Ophthalmology）から心理物理系および神経科学系の研究者が離脱して開かれるよ

うになった学会で、毎年五月の中ごろアメリカ、フロリダ州のサラソタという小さな海辺のリゾート地で開催されてきた。学会自体は今年で第 7 回目と比較的新しい学会であるが、前身の ARVO 時代からの参加者が中心メンバーであり、かつ ARVO がそもそもサラソタを固定開催地にして始まった経緯があるので、むし

ろ円熟した学会であるといえる。私自身の参加は2004年以來の3年ぶり、3回目である。学会はサラソタにあるHyatt Hotelの多目的ホールをトーク会場に、隣接する体育館をポスター会場にして行われる。トーク会場とポスター会場の距離が離れているので、両会場間の移動が不便なのは毎度のことである。学会はその名のとおり、世界の視覚研究（ただし眼科学的な研究は引き続きARVOが担っている）に関わる研究者達が一堂に会する場であり、発表テーマもかなり集約されているので例年非常に密度の高い学会である。

久しぶりのVSS参加ということもあって、事前の期待は非常に大きかったのであるが、今年の印象を一言でいうと今ひとつ盛り上がりには欠けたと言わざるを得ない。

以前参加したときの印象では心理物理の分野のビッグネームが自らトークやポスター発表をすることが多かったが、最近では学生やポスドクに発表を任せる傾向にあるようである。トーク会場で活発な質問が飛びような状況はあまり見られなかった。ポスター発表の数も例年に比べ少なめであったし、withdrawも目についた。また、トーク発表の選定基準にも多少の疑問を感じた。選ばれたのは、ほとんどがアメリカのラボ出身者で、日本人の発表者はほとんどいないばかりか、稀に選ばれたケースは共著者に欧米人が含まれる場合に限られていた。これは日本の心理物理における研究クオリティーの低さと発表技術の稚拙さを反映しているのではあるが、学会自体が内向き傾向にあることとも無縁ではないのではないだろうか。アメリカ人参加者は自分の発表が終わるとすぐに帰ってしまう傾向があるなど、VSSが国際学会というよりアメリカの国内学会のような雰囲気に変わってしまっていて、非常に残念であった。Vision Sciences Societyという名のあるとおり、本来は計算論やモデル研究も含んだ学会なのだが、モデル関係の発表は皆無で、ほとんどが心理物理とイメージングそれにバーチャルリアリティー系の研究発表で占められていた。VSSが盛り上がりには欠けた要因の一つとして、近年、心理物理学よりも、神経科学の方が活気があるため、視覚研究者の多くも、VSS

よりSfNでの発表を優先している背景があるのかもしれない。実際VSSの開催期間とSfNの発表締め切りが重なっていたため、参加者が締め切当日に発表会場で抄録を投稿している様子が目についた。SfNのような巨大な学会だと対象分野が多岐に発散しすぎているので、VSSくらいのサイズの学会にして活発な議論を行うことが望ましいと思うのだが、今回は視覚研究者達の社交場といった印象をより強くしていた。ワークショップやシンポジウムでは高いレベルの発表を聞くことができたが、それ以外の通常発表においても、ラボのトップが最新の研究成果を自ら披露するような雰囲気に戻らないと魅力は低下してしまう。

来年からVSSは開催地をフロリダ州のナポリに移して開かれることになる。ナポリへのアクセスがサラソタ以上に悪いというデメリットはあるものの、開催会場はずっと大きくなり、トーク会場とポスター会場を一箇所に集めることができる点で運営上は大きな改善が見込まれるという。今回の盛り上がりは今ひとつだったのも次回ナポリへの開催地変更を盛り上げるためという噂も聞こえてきた。今回の参加は3年ぶりであったので今回がたまたま低調であっただけであることを願う。

最後に、今回の報告では不満ばかりを並べてしまったが、それは個人的に久しぶりのVSS参加で事前の期待が大きかったぶん、落胆させられた点が目についてしまったからかもしれない。公平に見れば、視覚研究に限定した学会で、研究者が1500人規模で一堂に会するような学会はVSSにおいて他になく、視覚研究に携わる以上は、やはり外せない学会であることには変わらない。ヨーロッパ、イギリス、オーストラリア、アジアからの研究者も例年どおり多数参加していた。特に演題に占める割合からも明らかのように、心理物理学の分野においては最も規模の大きな学会の一つだと思うので、是非日本からも多くの研究者が積極的に参加して学会を盛り上げて欲しいと思う。

個人的には両眼立体視と運動視の心理物理研究を行っているので、VSSには定期的に参加して情報収集と成果発表を続けていくつもりである。